

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.2.51>

IIBC 2015-2-8

고정 경로 차량의 중계기화에 대한 성능 분석

Performance Analysis for Relay System of Fixed-Path Vehicle

김태욱*, 공형윤**

Tae-Wook Kim*, Hyung-Yun Kong**

요약 본 논문에서는 차량 통신에서 겪을 수 있는 페이딩의 영향을 완화하기 위해 협력 통신을 적용하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 방안을 제안하였다. 사용된 중계기는 버스와 같이 고정된 경로를 주행하는 이동 차량으로 설정하였으며 차량을 사용할 경우 전력 제약을 해결할 수 있다. 또한 도심 지역과 유사한 페이딩 환경에서 모의실험을 진행하기 위해 이중 레일리 페이딩 환경을 적용하였다. 따라서 제안된 기법을 일반적인 차량 통신 네트워크에 적용할 경우, 도시에 위치한 이동형 중계기로 인해 다이버시티 이득을 보장받을 수 있으므로 네트워크의 효율성이 증가한다. 마지막으로, 비트 오류율(Bit Error Rate)을 통해 시스템의 성능을 평가한다.

Abstract In this paper, we proposed scheme that obtain diversity gain in the cooperative communication to mitigate, applied to the effects of fading in the vehicle communication. Relay used bus that can available in the city environment. In addition, we applied the double rayleigh fading environment so that can applied in real-environments. Therefore, proposed scheme through this paper applied to vehicle communication, user can acquire a high quality service and the operation efficiency of the network is improved. Finally, performance of the proposed protocol is analyzed in terms of bit error rate.

Key Words : Vehicle-Infrastructure Communication, Vehicle to Vehicle Communication, Double Rayleigh Fading, Decode and Forward, Maximal Ratio Combining

1. 서론

최근 차량 통신에서 차량 - 시설물(Vehicle - Infrastructure) 통신을 활용해 차량 내에서 실시간으로 교통 정보를 확인할 수 있는 시스템이 상용화를 시작하였다^[1]. 이 기술뿐만 아니라 사고, 노면 정보, 주변 시설물의 정보 제공과 같은 응용 분야에 대한 연구가 활발히 진행 중이다^[2-3]. 그러나 차량 간(Vehicle to Vehicle) 통신의 경우 채널 추정 혹은 채널 모델링의 어려움으로 인해

실제 환경에 적용하지 못하였다^[4]. 이를 해결하기 위해 차량 간 통신에서 이중 레일리 페이딩을 적용해 채널 모델링 문제를 해결하고자 하는 연구가 진행 중이다^[5]. 이중 레일리 페이딩은 도심의 차량 통신 채널 모델로 적합하다. 이러한 이유로 차량 통신에 관한 다수의 논문에서는 채널 모델에 이중 레일리 페이딩을 적용하여 연구하였다. 그러나 이러한 환경은 송수신단 사이의 채널이 극심한 페이딩을 겪기 때문에 신호 대 잡음 비가 요구 수치보다 낮거나 신호가 전달되지 않을 수 있다.

*준회원, 울산대학교 전기공학부

**정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부(교신저자)
접수일자 : 2014년 11월 8일, 수정완료 : 2015년 2월 5일
게재확정일자 : 2015년 4월 10일

Received: 8 November, 2014 / Revised: 5 February, 2015 /

Accepted: 10 April, 2015

**Corresponding Author: hkong@ulsan.ac.kr

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

따라서 본 논문에서는 이중 레일리 페이딩의 영향을 완화하기 위해 협력 통신에서 사용되는 중계기를 적용하였다. 따라서 수신단에서는 다이버시티 이득을 통해 페이딩의 영향을 완화시킬 수 있다. 본 논문의 시나리오에서는 송신단과 수신단의 거리로 인해 직접 통신의 제약을 받을 경우 혹은 그렇지 않을 경우, 특정 노드를 중계기로 사용한다. 송신단은 도심을 주행하는 차량이며, 수신단은 시설물 혹은 차량이다. 또한 중계기는 버스와 같이 고정 노선을 운행하며 특정 구간을 수분간의 주기로 운행하는 차량이며 전송을 원하는 송신단 차량 주변에 위치한다고 가정한다. 중계기를 주변 시설물이 아닌 차량으로 설정할 경우, 전력 제약 및 안테나 설치에 대한 문제점을 해결할 수 있으며 차량의 이동으로 인해 많은 수의 중계기를 설치한 것과 유사한 효과를 얻을 수 있다. 또한 중계기에서는 복호 후 전송(Decode and Forward) 기법을 적용하였으며, 직접 통신이 가능한 경우 수신단에서는 최대 비 결합(Maximal Ratio Combining) 기법을 적용하여 송신단의 메시지를 복호한다.

II장에서는 본 논문에서 제안하는 시스템 모델에 대해 소개하며, III장에서는 모의실험을 통해 단일 레일리 페이딩과 이중 레일리 페이딩을 적용했을 때 얻을 수 있는 결과를 비교하고, 시스템 모델의 전체적인 성능을 평가한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 장에서는 송신 차량(S : Source), 중계 차량(R : Relay), 수신단(D : Destination)으로 구성된 시스템 모델을 정의하며 이중 레일리 페이딩 환경에 대한 성능 평가 방법으로 소개한다.

그림 1의 시스템 모델에서 S는 메시지의 전송을 원하는 차량, R은 고정 경로를 운행하는 차량, D는 수신단을 의미한다. 또한 차량으로 설정된 송신단과 기지국으로 설정된 수신단을 변경하여 적용할 수 있다. 송신단과 중계기 사이의 채널 정보는 h_{SR} , 중계기와 수신단 사이의 채널 정보는 h_{RD} , 송신단과 수신단 사이의 채널 정보는 h_{SD} 로 정의한다.

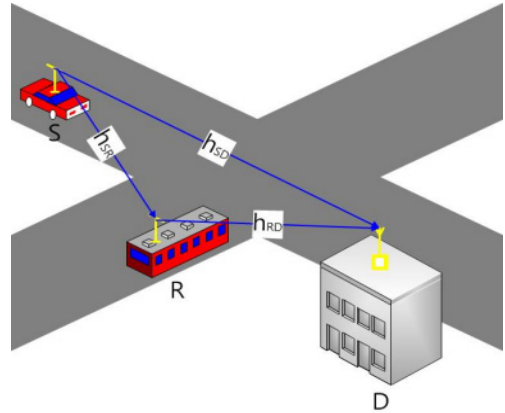


그림 1. 시스템 모델

Fig. 1. System model

1. 채널 모델

[6]에서는 차량 통신에 적합한 실제적인 채널 모델에 대해 연구하였다. 이러한 이유는 기존의 이동통신 기반의 무선 채널 모델과는 다르게 산란으로 인한 고속 페이딩 특성을 고려해야하기 때문이다.

잘못된 채널 모델을 사용할 경우, 순시 신호 대 잡음비의 감소로 인해 송신단 S의 신호를 복호할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 이동하는 차량에 의해 발생하는 다중 경로 페이딩을 고려하여 실제 차량 통신 환경과 유사한 것으로 보고된 이중 레일리 페이딩을 적용하였다^[4, 7].

[7]에서는 다중 경로 페이딩에 대한 캐스케이드(Cascade) 형태의 채널 정보를 아래와 같이 표현하였다.

$$H = K + H_1 + \alpha H_2 H_3 + \beta H_4 H_5 H_6 + \dots \quad (1)$$

식 (2)에 표현된 채널 정보 H 는 K 와 각각의 다중 경로 페이딩의 채널 정보에 가중치 α, β 형태로 표현하였다. 여기서 K 는 라이시안에 대한 정보를 의미하며 가중치 α, β 는 각각의 다중 경로 페이딩에 대한 평균 전력이다. 또한 $H_2 H_3, H_4 H_5 H_6$ 는 이중, 삼중 레일리 페이딩에 대한 채널 정보를 의미하며 H_2, H_3 은 각각의 단일 레일리 페이딩의 채널 정보이다. 따라서 위 식 (1)을 이용하여 이중 레일리 페이딩의 채널 정보를 얻을 수 있으며 이때 평균 전력 α 를 1로 설정하면 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$h_{double\ rayleigh} = h_{single\ rayleigh} \times h_{single\ rayleigh} \quad (2)$$

식 (2)에 표현된 것 같이 이중 레일리 페이딩의 채널 정보는 단일 레일리 페이딩에 대한 채널 정보 $h_{single rayleigh}$ 의 곱으로 표현 가능하다. 위 식을 통해 이중 레일리 페이딩의 채널 정보가 단일 레일리 페이딩일 때와 비교하여 산란이 심한 것을 예상할 수 있다. 또한 위 식 (2)의 확률 밀도 함수(Probability Density Function)은 아래와 같다.

$$f_Z(z) = \underbrace{\frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}}_{f_{X(x)}} \times \underbrace{\frac{y}{\sigma^2} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}}}_{f_{Y(y)}} \quad (3)$$

위 식 (3)은 $Z=XY$ 로 표현 가능할 때, 얻을 수 있는 확률 밀도 함수이며 x 와 y 는 서로 독립이기 때문에 곱의 형태로 정의할 수 있다.

1. 제안하는 첫 번째 프로토콜

첫 번째 프로토콜의 경우, 송신단과 수신단의 직접 통신이 불가능한 것으로 가정하며 중계기 R을 통한 전송 프로토콜을 의미한다. 이때, 중계기에서 수신된 메시지를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_{SR} = \sqrt{P_S} x h_{SR} + n_{SR} \quad (4)$$

식 (4)는 중계기 R에서 수신된 신호를 의미하며 P_S 는 전송 전력, x 는 송신단 S의 메시지, h_{SR} 은 송신단과 중계기 사이의 채널 정보이며, n_{SR} 은 평균이 0, 분산이 N_0 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 의미한다. 채널 정보 h_{SR} 은 앞서 언급했듯이 이중 레일리 페이딩을 따른다. 또한 중계기에서는 임계 신호 대 잡음 비(Threshold Signal to Noise Ratio) γ_{th} 와 수신된 신호의 신호 대 잡음 비 γ_{SR} (송신단과 중계기 사이) 값을 비교하여 복호의 성공 여부를 판단한다. 중계기에서는 복호 후 전송 기법을 사용하기 때문에 복호된 메시지는 \hat{x} 으로 표현한다. 수신단에서는 중계기에서 전송된 메시지를 복호하며 아래와 같은 신호를 수신한다.

$$y_{RD} = \sqrt{P_R} \hat{x} h_{RD} + n_{RD} \quad (5)$$

따라서 수신된 y_{RD} 를 통해 송신단 S의 메시지를 얻을 수 있다.

2. 제안하는 두 번째 프로토콜

두 번째 프로토콜의 경우, 송신단과 수신단의 직접 통신이 가능한 것으로 가정하며 송신단 S와 중계기 R을 통해 수신단 D까지 전송이 가능한 프로토콜을 의미한다. 이때, 중계기와 수신단에서 수신된 메시지를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} y_{SR} &= \sqrt{P_S} x h_{SR} + n_{SR} \\ y_{SD} &= \sqrt{P_S} x h_{SD} + n_{SD} \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)은 중계기 R과 수신단 D에서 수신된 신호를 의미하며 P_S 는 전송 전력, x 는 송신단 S의 메시지, h_{SR} 은 송신단과 중계기 사이의 채널 정보, h_{RD} 는 송신단과 수신단 사이의 채널 정보, n_{SR}, n_{RD} 는 평균이 0, 분산이 N_0 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 의미한다. 채널 정보 h_{SR}, h_{RD} 는 첫 번째 프로토콜과 동일한 이중 레일리 페이딩이다. 중계기와 수신단에서는 임계 신호 대 잡음 비(Threshold Signal to Noise Ratio) γ_{th} 와 수신된 신호의 신호 대 잡음 비 γ_{SR} (송신단과 중계기 사이), γ_{RD} (송신단과 수신단 사이) 값을 비교하여 복호의 성공 여부를 판단한다. 중계기 R에서 임계 신호 대 잡음 비 이상의 γ_{SR} 을 얻을 경우, 수신단으로 복호된 메시지를 전송한다. 또한 이와 동일하게 수신단에서는 임계 신호 대 잡음 비 이상의 γ_{RD} 를 얻을 경우 중계기에서 전송된 메시지와 최대 비 결합 기법을 통해 송신단 S의 메시지를 얻는다.

III. 모의실험

본 장에서는 시스템 모델의 성능을 평가하기 위해 모의실험을 진행하였으며 모의실험에 적용한 파라미터의 수치는 아래 표 1에 나타내었다.

표 1. 모의 실험 파라미터
 Table 1. Simulation parameters

Fading	Double Rayleigh fading
Path loss exponent	3.5
Modulation	BPSK
SNR Threshold	5dB
SNR	0 ~ 20 dB
Relay's protocol	Decode and Forward
Combining scheme	Maximum Ratio

표 1의 모의실험 파라미터에서 시스템 모델에서 정의한 이중 레일리 페이딩을 적용하였다. 경로 손실 지수는 도심지 차량 통신 환경을 고려해 3.5으로 지정하였다^[6]. 비트 오류율을 측정하기위해 BPSK 모듈레이션을 적용하였으며, 임계 신호 대 잡음 비는 5dB로 지정하였다. 또한, 송신단과 수신단 사이의 거리를 정규화하여 1로 지정하였으며 이때 첫 번째, 두 번째 프로토콜에 따라 직접 통신이 가능한 경우와 불가능한 경우로 나누었다. 또한 중계기와 수신단 사이의 거리는 0.45로 지정하였다.

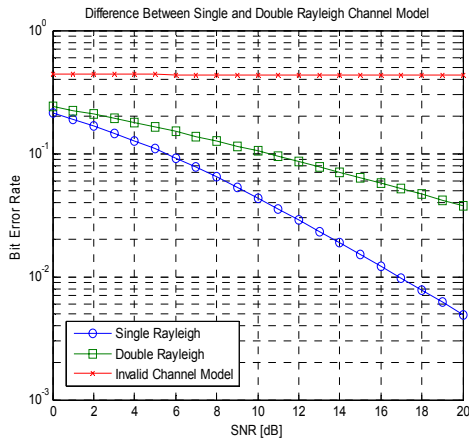


그림 2. 단일, 이중 레일리 페이딩에 대한 차이점
Fig. 2. Differences in single and double rayleigh fading

그림 2는 실제 페이딩 환경이 단일 혹은 이중 레일리 페이딩일 때, 얻을 수 있는 비트 오류율이다. 실제 페이딩 환경이 단일 레일리 페이딩인 경우 그래프 'Single Rayleigh'를 얻을 수 있으며, 또한 실제 페이딩 환경이 이중 레일리 페이딩인 경우 그래프 'Double Rayleigh'를 얻을 수 있다. 두 페이딩 환경에 대한 비트 오류율 차이는 이중 레일리 페이딩이 단일 레일리 페이딩에 비해 산란 특성이 크기 때문이다. 또한 그래프 'Invalid Channel Model'은 실제 환경이 이중 레일리 페이딩일 때, 단일 레일리 페이딩 환경을 적용하여 복호할 경우 얻을 수 있는 그래프이다. 이러한 결과는 실제 모델과 유사한 페이딩 환경을 적용하지 않을 경우, 신호의 결과를 신뢰할 수 없음을 나타낸다. 또한 순시 신호 대 잡음 비의 감소로 메시지를 복호할 수 없는 경우가 발생한다.

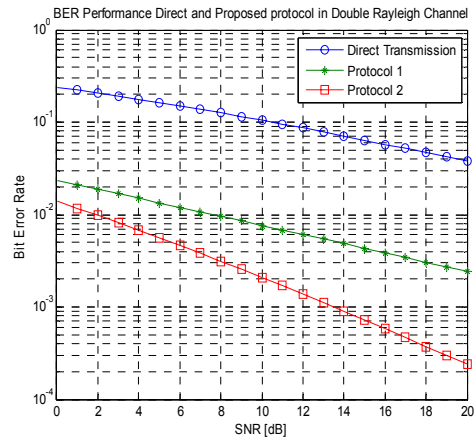


그림 3. 제안된 프로토콜 간의 비트 오류율 비교
Fig. 3. Comparison of the bit error rate between the proposed protocol

그림 3은 직접 통신과 제안된 두 개의 프로토콜 간 성능을 비교한 것이며 첫 번째 프로토콜은 직접 통신이 불가능하여 중계기에서 전달된 신호만으로 복호할 경우, 두 번째 프로토콜은 직접 통신이 가능하여 중계기에서 전송된 메시지와 최대 비 결합 기법을 적용해 복호할 경우에 대한 비트 오류율 성능이다. 직접 통신과 비교할 경우, 제안된 프로토콜은 모두 우수한 것을 알 수 있다. 또한 그래프 'Protocol 1', 그래프 'Protocol 2'는 최소 5.96×10^{-1} , 최대 9.88×10^{-2} 의 비트 오류율 차이를 갖는다. 이러한 차이는 첫 번째 프로토콜의 경우, 중계기와 수신단 사이의 거리가 0.45로 설정되어 있으므로 직접 통신보다 우수하게 나타나며, 두 번째 프로토콜은 송신단, 중계기에서 전송된 신호를 최대 비 결합 기법을 사용하여 협력 다이버시티 이득을 얻기 때문에 직접 통신, 첫 번째 프로토콜보다 우수한 비트 오류율을 가짐을 알 수 있다.

따라서 제안된 기법의 모의실험 결과를 통해 채널 모델의 잘못된 설정은 수신된 신호를 신뢰할 수 없음을 알 수 있다. 또한 수신단에서 다이버시티 이득을 얻게 되어 페이딩의 영향을 완화시켰음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 차량 통신에서 겪을 수 있는 페이딩의

영향을 완화하기위해 협력 통신을 적용하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 방안을 제안하였다. 중계기는 버스 와 같이 고정 노선을 운행하며 특정 구간을 수분간의 주 기로 운행하는 차량으로 설정하였으며 고정식 중계기와 비교하여 전력 낭비 및 통신 음영지역을 최소화할 수 있 다. 또한 실제 환경에 적용할 수 있도록 차량 통신 환경 과 유사한 이중 레일리 페이딩을 적용하였다. 기존 기법 에서는 지상에 고정된 중계기를 사용하거나 채널 모델에 대한 정의를 하지 않았다. 따라서 산란이 심한 도심 지역 에서는 수신단의 신호 대 잡음 비가 열악한 지역이 발생 하게 되어 사용자에게 제공하는 서비스의 품질이 낮다. 그러나 본 논문을 통해 제안된 이동형 중계기를 차량 통 신 네트워크에 적용할 경우 도심 지역에 위치한 수신단 에서 다이버시티 이득을 보장받을 수 있으므로 네트워크 의 효율성이 증가한다.

References

[1] Urban Traffic Information System, Traffic Information, Nov 2014, <http://www.utis.go.kr>.

[2] Christoph Ide, Bjoern Dusza, Markus Putzke, Christian Wietfeld, "Channel Sensitive Transmission Scheme for V2I-based Floating Car Data Collection via LTE", Communications (ICC), 2012 IEEE International Conference on, pp 7151 ~ 7156, June 2012.

[3] Vicente Milanés, Jorge Villagrà, Jorge Godoy, Javier Simó, Joshué Pérez, Enrique Onieva, "An Intelligent V2I-Based Traffic Management System", Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, Vol 13, No 1, pp 49~58, Mar 2012.

[4] Amr El-Keyi, Tamer ElBatt, Fan Bai, Cem Saraydar, "MIMO VANETs: Research challenges and opportunities", Computing, Networking and Communications (ICNC), 2012 International Conference on, pp 670~676, Feb 2012.

[5] Zhaoxun Li, Yang Zhao, He Chen, Hanying Hu, "Outage probability bound analysis in vehicle-assisted inter-vehicular communications",

Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2010 14th International Conference on, pp 783~787, Apr 2010.

[6] Deock-Ho Ha "Radio Channel Model Suitable for the Next Generation Wireless Access Vehicular Environment Technology", Journal of The Korean Institute of Information Technology, Vol 12, No 4, pp 43~50, Apr 2014.

[7] Chen Wei, He Zhiyi, Yao Tianren, "A street reference model of MIMO vehicle-to-vehicle fading channel", Industrial Electronics and Applications IEEE Conference on 2008, pp 275~ 278, Jun 2008.

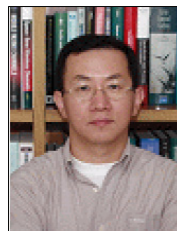
저자 소개

김 태 욱(준회원)



- 2007년 2월 ~ 2014년 2월 : 울산대학교 전기공학부 학사
- 2014년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 석사
- <주관심분야> : 인지 기술, 협력 통신, 전력 수집

공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 : New York Institute of Technology(미국) 전자공학과 학사
- 1991년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 석사
- 1996년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 박사
- 1996년 ~ 1996년 : LG전자 PCS팀장
- 1996년 ~ 1998년 : LG 전자 회장실 전략 사업단
- 1998년 ~ 현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- <주관심분야> : 모뮬레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서네트워크